

# 지하시설물(구조물형) 데이터 품질검증방법 개선방안 연구

## A Study on Improving the Data Quality Validation of Underground Facilities(Structure-type)

배 상 근\* · 김 상 민\*\* · 유 은 진\*\*\* · 임 거 배\*\*\*\*  
Sang-Keun Bae · Sang-Min Kim · Eun-Jin Yoo · Keo-Bae Im

### Abstract

With the available national spatial information that started from the sinkholes that occurred nationwide in 2014 and integrated 15 areas of underground information, the Underground Spatial Integrated Map has been continuously maintained since 2015. However, until recently, as disasters and accidents in underground spaces such as hot water pipes rupture, cable tunnel fires, and ground subsidence continue to occur, there is an increasing demand for quality improvement of underground information. Thus, this paper attempted to prepare a plan to improve the quality of the Underground Spatial Integrated Map data. In particular, among the 15 types of underground information managed through the Underground Spatial Integrated Map, quality validation improvement measures were proposed for underground facility (structure-type) data, which has the highest proportion of new constructions. To improve the current inspection methods that primarily rely on visual inspection, we elaborate on and subdivide the current quality inspection standards. Specifically, we present an approach for software-based automated inspection of databases, including graphics and attribute information, by adding three quality inspection items, namely, quality inspection methods, rules, and flow diagram, solvable error types, to the current four quality inspection items consisting of quality elements, sub-elements, detailed sub-elements, and quality inspection standards.

Keywords: Underground facility, Data Quality Validation, Underground Spatial Integrated Map, Underground Information, Spatial Data

### 1. 서론

지하공간은 지상공간과 대칭을 이루는 개념으로서 상업적 또는 공공적 목적을 위하여 자연상태의 지표

면 아래 인위적으로 형성된 공간자원을 말한다(이인수·고정석 2008). 이러한 지하공간은 국민생활에서 유용하게 사용되는 국토공간이자 한정된 자원이므로 안전하고 효율적으로 관리하는 것이 매우 중요하다

\* 한국국토정보공사 공간정보연구원 책임연구원 LX Spatial Information Research Institute (first author: sk3938@lx.or.kr)

\*\* 한국국토정보공사 공간정보연구원 선임연구원 LX Spatial Information Research Institute (kimsm@lx.or.kr)

\*\*\* 한국국토정보공사 공간정보연구원 선임연구원 LX Spatial Information Research Institute (corresponding author: ejyoo@lx.or.kr)

\*\*\*\* 한국국토정보공사 공간정보연구원 선임연구원 LX Spatial Information Research Institute (limgb1224@lx.or.kr)

(배상근 외, 2020a).

2014년도에 서울 송파구를 비롯해 전국적으로 발생했던 싱크홀을 계기로, 2015년 지하공간에 대한 정보를 효과적으로 관리하기 위해 15종의 지하정보를 통합한 지하공간통합지도가 탄생하였다(배상근 외 2020b). 2015년 서울 송파구, 부산 해운대구, 대전 서구를 대상으로 한 시범사업을 시작으로, 2016년과 2017년에는 서울을 비롯한 8대 특·광역시와 경기도 일부 시(市)지역에 대한 지하공간통합지도 구축사업을 추진하였다. 2018년 국토교통부 고시를 통해 LX한국국토정보공사(이하 LX)가 지하공간통합지도 제작 업무위탁기관으로 지정됨에 따라, 2018년부터 LX가 지하공간통합지도 구축사업을 위탁받아 수행하고 있다.<sup>1)</sup>

지하공간통합지도의 정의, 제작 및 제공·활용에 대한 근거는 2016년 제정된 「지하안전관리에 관한 특별법(이하 지하안전법)」에서 마련하였다(국토교통부 2020). 지하안전법 제2조(정의)에 따르면 “지하공간통합지도란 지하를 개발·이용·관리하기 위하여 필요한 지하정보를 통합한 지도”라고 명시되어 있으며, 제42조(지하공간통합지도의 제작 및 전담기구의 지정·운영)에서는 지하공간통합지도의 제작을 위한 지하정보의 수집 및 관리, 정확도 개선 등에 대한 내용을 규정하고 있다.

한편 지하안전법 제42조에 따라 국토교통부에서는 지하공간통합지도 제작에 필요한 구체적인 사항을 규정하기 위한 「지하공간통합지도 제작 작업규정」을 2018년에 고시하였다. 이 규정에서는 각 정보의 정의와 함께 15종의 지하정보를 지하시설물(관로형) 정보, 지하시설물(구조물형) 정보, 지반정보와 같이 3종의 대분류로 구분<sup>2)</sup>하고, 제작 공정, 자료 수집, 정보 생성 및 편집, 모델링, 성과품 정리 및 품질관리 등에 관련한 사항 등을 규정하고 있다(국토교통부 2018).

데이터 품질관리와 관련해서는 구축된 지하공간통합지도가 제작기준에 부합하는지 여부를 판정하기 위한 지하공간통합지도 품질검사 기준과 지하공간통합

지도 품질검사 방법을 제시하였다. 품질검사 기준은 데이터 대분류 3종별 품질검사 방법 및 대상에 대한 정량적인 기준을 정의하였고, 품질검사 방법은 품질요소별 검사방법에 대해 설명하고 있다. 이 중 ‘품질검사 기준’ 항목이 실제 데이터를 검사하기 위한 방법을 설명하고 있으나, 내용의 구체성과 명확성이 낮아 실제 업무에 적용하기가 어려운 실정이다. 예를 들어 2차원정보의 위상일관성을 검증하기 위한 기준을 “2차원정보에 대한 위상조건 적정성 확인”이라고 정의하고 있다. 그러나 검사대상 데이터, 위상조건의 종류, 적정성 검증방법, 검증결과 판단 기준에 대한 구체적인 언급이 없다. 즉 어떠한 데이터의 어떠한 위상조건에 대한 적정성을 어떻게 검증하고, 검증결과가 오류인지 여부를 판단하기 위한 기준에 대한 구체성이 부족하다. 따라서 작업자별로 이를 다르게 해석하여 서로 다른 방법 및 기준에 따라 데이터를 검수할 여지가 매우 높으며, 이는 곧 작업방식의 일관성과 통일성 결여와 함께 궁극적으로는 데이터 품질 저하라는 문제를 야기할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 지하공간통합지도의 데이터 품질관리 방법을 개선하기 위한 방안에 대해 제시하고자 하였다. 특히 지하공간통합지도 데이터 대분류 3종 중 우리가 일상생활에서 늘 이용하며, 지하공간통합지도 구축사업을 통해 신규 구축하는 데이터 물량의 비중이 가장 높은 지하시설물(구조물형)을 그 대상으로 하였다.

## 2. 데이터 품질의 개념 및 공간데이터 품질기준

양질의 데이터는 데이터 분석 및 활용, 데이터의 가치를 보장하기 위한 전제조건이다(Cai and Zhu 2015). 사용되는 데이터 품질에 따라 데이터 활용결과에 대한 신뢰성이 좌우되기 때문에 양질의 데이터 확보는 매우 중요하다. 따라서 데이터 분석이나 처리 전에 수집된 데이터의 품질을 확인하거나, 가공·변환된 데이

터의 품질을 검증하는 것이 필수적이다.

데이터 품질은 “데이터를 활용하는 사용자의 다양한 활용 목적이나 만족도를 지속적으로 충족시킬 수 있는 수준”으로 정의된다(Larry P. English 1999). 그러므로 데이터 품질관리는 데이터를 활용한 분석·처리·가시화 등의 성과물에 대한 신뢰성 확보와 사용자의 만족도 향상을 위해 반드시 필요하다.

공간데이터는 공간데이터 뿐만 아니라 공간정보와 무관하였던 다른 분야 정보와의 융·복합을 위한 기반이 되는 자료로써 주목받고 있다(최재연·김은형 2020). 이처럼 데이터의 연계와 개방이 활성화 되면서 데이터 품질에 관한 문제가 발생하게 되었고, 데이터의 신뢰도가 중요한 요소로 인식되었다. 따라서 데이터 신뢰도 향상을 위해 국가적 차원에서 관련 법률 및 규정 제정, 데이터 표준화 작업 등의 노력을 지속하고 있다(배상근 외 2020C).

본 논문에서 품질검증의 대상이 되는 공간데이터는 지하시설물(구조물형) 데이터로서, 일반적으로 수집되는 원시데이터는 2차원, 생성되는 최종성과물 데이터는 3차원 데이터의 형식을 가진다. 따라서 지하시설물(구조물형) 데이터의 품질관리를 위해서는 2차원, 3차원 데이터를 모두 검증할 수 있는 기준을 수립해야 한다.

공간데이터 품질기준에 대한 대표적인 사례는 국제표준인 ISO 19157이다. 이 표준은 Table 1과 같이 공간데이터 품질 개념, 품질 평가 요소, 방법, 결과 도출 등 공간데이터 품질관리 프로세스 전반에 관한 표준화된 방식을 규정한다. 국내외 대다수의 공간데이터 품질관리 기준은 이 표준을 기반으로 하여 제작되었다(배상근 외, 2020C).

### 3. 3차원 공간데이터 품질검증 현황

3차원 공간데이터 품질검증을 위해서는 먼저 3차원 공간 객체에 대한 정의가 선행되어야 한다. 국제표준

Table 1. Data quality elements.

Source: ISO 19157(2013), 배상근 외(2020C)

Elements	Definition
Completeness	Presence and absence of geographic features, associated attributes and relationships
Logical consistency	Degree of conformity with attributes and relationship, and logical rules of data structure
Positional accuracy	Degree of positional accuracy of geographic features within Spatial Reference System
Thematic accuracy	Accuracy of quantitative attributes, accuracy of classification of geographic features and non-quantitative attributes, and accuracy of their relationships
Temporal accuracy	Temporal relationship in geographic features and quality of temporal attributes
Usability	Additional quantitative quality factors based on user requirement

인 ISO 19107-Spatial Schema에서는 공간 객체의 특성을 표현하기 위한 개념 스키마를 정의하였다.

Figure 1은 해당 표준에서 정의한 기하 기본 클래스로서 공간 객체들간의 관계를 나타낸다. 0차원 객체는 GM\_Point, 1차원은 GM\_Curve, 2차원은 GM\_Surface, 3차원은 GM\_Solid로 정의되며, d차원의 객체는 d-1차원 객체들의 결합으로 이루어진다. 동일 차원의 여러 기하 객체는 aggregate 혹은 composite의 형태로 결합될 수 있으나 두 가지 형태의 결합은 서로 다른 차이를 가진다. Aggregate의 형태로 결합된 공간 객체는 객체 간 위상 관계가 정의되지 않기 때문에 중첩이나 불연속이 허용되나, composite의 형태로 결합된 공간 객체는 객체 간 위상 관계를 가지기 때문에 중첩이나 불연속을 허용하지 않는다(ISO 2019; 김병선 외 2020).

3차원 공간데이터 품질검증과 관련하여 OGC에서

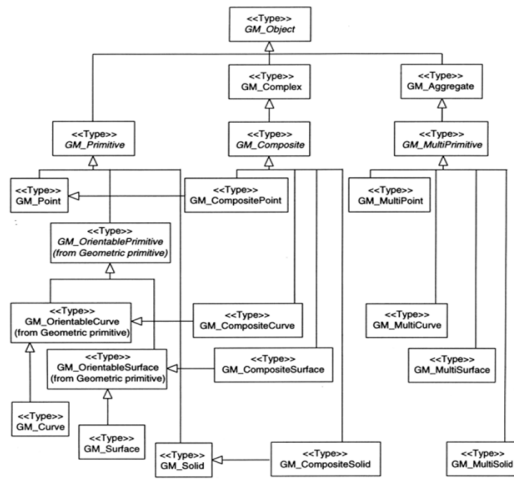


Figure 1. Geometry basic classes with specialization relations in ISO 19107(ISO 2019)

는 2016년에 3차원 도시모델을 구현하기 위한 국제 표준 데이터 포맷인 CityGML 데이터의 상호운용성 확보를 위해 CityGML Quality Interoperability Experiment(이하 QIE)를 발표하였다. 이 문서에서는 데이터 품질의 정의 및 요구사항, CityGML 데이터의 품질검증 절차, 데이터 품질검증 결과 등에 대한 내용을 제시하고 있다. 특히 품질 검증을 위한 3가지의 기하학적 레벨을 ring, polygon, shell로 구분하고, Table 2와 같이 3차원 객체가 각 기하학적 레벨에서 가져야 하는 요구사항에 대해 정의하였다(OGC 2016).

3차원 공간데이터 품질검증을 위한 대표적인 소프트웨어로는 독일의 Stuttgart Technology University에서 개발한 CityDoctor, Safe Software사에서 개발한 FME, 네덜란드 Tu Delft에서 개발한 val3dity 등이 있다. 이 중 val3dity는 1개의 단일 solid에 대한 검증만 가능했던 기능을 Figure 2와 같이 MultiSurface, CompositeSurface, Solid, MultiSolid, CompositeSolid까지 검증할 수 있도록 개선하였다(Ledoux 2018).

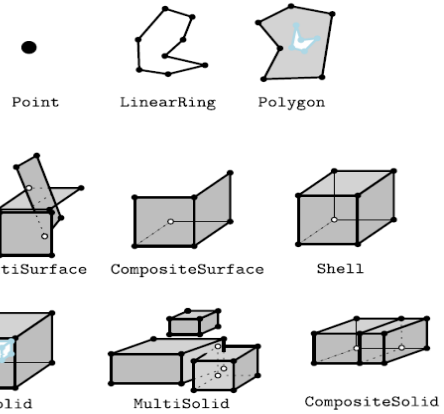


Figure 2. The 3D primitives supported by val3dity (Ledoux 2018)

## 4. 데이터 품질검증방법 개선방안

### 4.1. 지하시설물(구조물형) 데이터

「지하공간통합지도 제작 작업규정」의 제2조(정의)에서는 지하시설물을 “수도, 하수도, 전기설비, 전기통신설비, 가스공급시설, 집단에너지공급시설, 공동구, 지하도로, 지하광장, 도시철도시설, 철도시설, 지하주차장, 지하도상가 등 지하를 개발·이용하는 시설물을 말한다”라고 정의하고 있다. 또한 동 규정 [별표 1] 지하공간통합지도 표준데이터 항목의 대분류에 따라 지하시설물 중 상수·하수·가스·통신·전기·난방과 같은 시설물을 지하시설물(관로형), 지하철·지하차도·지하보도·지하상가·지하주차장·공동구를 지하시설물(구조물형)로 구분한다. 지하시설물(구조물형)은 다시 지하철, 공동구, 지하차도, 지하보도, 지하주차장, 지하상가와 같이 6개의 중분류로 나뉘며, 이 중 지하철은 지하철 선로와 지하철 역사 2개의 세분류로 구분된다. 지하시설물(관로형)과 지반의 경우, 일반적으로 데이터가 전산화되어 있어 지하공간통합지도 구축사업 시 데이터 변환 및 가공 위주의 작업을 주로 수행한다. 그러나 지하시설물(구조물형)은 데이터가 전산화

Table 2. Error codes and data quality requirements for the geometric levels(OGC, 2016)

Geometric Levels	Error codes	Data Quality Requirements
Ring(R)	GE_R_TOO_FEW_POINTS	A ring should have at least 3 points.
	GE_R_CONSECUTIVE_POINTS_SAME	Points in a ring should not be repeated (except first-last in case of GML).
	GE_R_NOT_CLOSED	The first and last points have to be identical (at the same location).
	GE_R_SELF_INTERSECTION	A ring should be simple, i.e., it should not self-intersect.
	GE_R_COLLAPSED	A special case of self-intersection: the ring is collapsed to a line.
Polygon(P)	GE_P_INTERSECTION_RINGS	Two or more rings intersect, these can be either the exterior ring with an interior ring or only interior rings.
	GE_P_DUPLICATED_RINGS	Two or more rings are identical.
	GE_P_NON_PLANAR_POLYGON_DISTANCE_PLANE	A polygon must be planar, i.e., all of its points (used for both the exterior and interior rings) must lie on a plane.
	GE_P_NON_PLANAR_POLYGON_NORMALS_DEVIATION	The orientation of the normal of each triangle must not deviate more than a certain user-defined tolerance.
	GE_P_INTERIOR_DISCONNECTED	The interior of a polygon must be connected.
	GE_P_HOLE_OUTSIDE	One or more interior ring(s) is (are) located completely outside the exterior ring.
	GE_P_INNER_RINGS_NESTED	One or more interior ring(s) is (are) located completely inside another interior ring.
	GE_P_ORIENTATION_RINGS_SAME	The interior rings must have the opposite direction (clockwise vs counterclockwise) when viewed from a given point-of-view.
Shell(S)	GE_S_TOO_FEW_POLYGONS	A shell should have at least 4 polygons.
	GE_S_NOT_CLOSED	The shell must not have 'holes', i.e., it must be 'watertight'.
	GE_S_NON_MANIFOLD_VERTEX	Each shell must be simple, i.e., it must be a 2-manifold.
	GE_S_NON_MANIFOLD_EDGE	Each edge of a shell should have exactly 2 incident polygons.
	GE_S_MULTIPLE_CONNECTED_COMPONENTS	Polygons that are not connected to the shell should be reported as an error.
	GE_S_SELF_INTERSECTION	A shell should be simple, i.e., it should not self-intersect. If topology of the shell is correct and the shell is closed, it is possible that the geometry introduces other errors, e.g., intersections.
	GE_S_POLYGON_WRONG_ORIENTATION	If one polygon is used to construct a shell, its exterior ring must be oriented in such a way that when viewed from outside, the shell points are ordered counterclockwise.
	GE_S_ALL_POLYGONS_WRONG_ORIENTATION	Where all the polygons have the wrong orientation (as defined in GE_S_POLYGON_WRONG_ORIENTATION), i.e., they all point inwards.

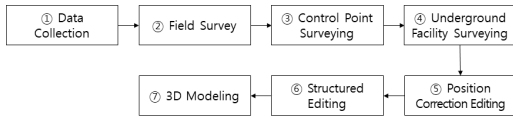


Figure 3. 지하시설물(구조물형) 데이터 제작 공정

되어 있지 않은 경우가 많아 지하공간통합지도 구축 사업 시 데이터를 전산화하거나, 현장측량을 통해 데이터를 구축한 후 3차원으로 가공·변환하는 과정을 거치게 된다.

한편 「지하공간통합지도 제작 작업규정」에 따르면 지하시설물(구조물형) 데이터의 제작 공정은 Figure 5과 같다. 먼저 데이터 구축에 필요한 원시자료의 수집과 전산화 작업과 대상 시설물에 대한 현장 조사를 진행한 뒤, 기준점 측량, 지하현장측량 및 보조측량과 같은 현장 측량을 실시한다. 이렇게 취득된 데이터에 대해 정위치 편집과 구조화 편집 과정을 거친 후 최종적으로 모델링을 통해 3차원 데이터를 구축한다.

「지하공간통합지도 제작 작업규정」에 따르면 지하공간통합지도 구축사업 시 지하시설물(구조물형)의 위치 및 형상을 나타내는 최종 성과물로 정위치 데이터, 3D모델 데이터, 구조화데이터 등을 제출한다. 정위치 데이터는 캐드 파일(DXF, DWG), 3D모델 데이터는 3DS 또는 DAE, 구조화데이터는 SHP 파일 포맷으로 구축한다. 본 연구에서는 이들 데이터 중 2D와 3D 도형 데이터 검수에 적합한 DXF와 DAE의 포맷 특성을 간략히 살펴보았다.

2D 벡터 데이터의 대표적인 데이터 포맷 중 CAD (Computer-Aid Data) 모델에서 가장 범용적인 DXF (Drawing eXchange Format)은 3차원 공간 표현이 가능하나 속성 및 위상구조는 가지지 않는 특징이 있다. DXF는 데이터 관리, 사용, 변환이 용이하며 여러 프로그램에서 사용가능하도록 단순한 구조로 설계되었다.

3D 메쉬 데이터는 단순한 구조로 생성, 수정, 세분

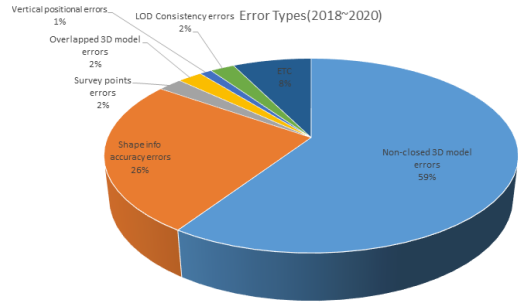


Figure 4. 최근 3년간(2018년~2020년) 주요 오류 유형

화, 확장 수행 시 정보 손실없이 쉽게 운용될 수 있다. 3 DAE(Digital Asset Exchange)는 다양한 그래픽 프로그램에서 동일한 형식으로 정보를 교환하는데 활용될 수 있다. 3 DAE 형식은 지오메트리, 색상, 재질, 텍스처 및 애니메이션과 같은 형상 관련 속성을 지원한다.

지하공간통합지도 구축사업을 통해 데이터가 구축되는 과정에서 데이터의 품질검사가 이루어진다. 이때 속성값의 누락이나 유효성과 같은 검사항목 외에 대다수의 검사항목을 육안으로 검수하고 있으며, 특히 도형정보에 대한 사항은 도형의 중복 외에는 모두 육안검수를 실시하고 있다(배상근 외 2020c). 2018년 ~ 2020년까지 최근 3년 동안의 지하공간통합지도 구축사업에서 지하시설물(구조물형) 데이터 품질검사 공정 중 발견한 주요 오류 유형을 분석하였다. 본 논문에서 분석한 주요 오류 유형은 Figure 5의 지하시설물(구조물형) 데이터 제작 공정에서 3차원 모델링이 완료된 후 이루어진 품질검사에서 발견한 도형정보에 대한 오류를 대상으로 하였다. 오류 특성에 따라 발견된 오류를 ‘비폐합된 3D 객체, 실제 형상 불일치, 측량점 미처리, 면중점, 수직위치 부정적, 세밀도 일관성 부정적, 기타’의 7개 유형으로 분류하였다.

‘비 폐합된 3D 객체’는 데이터가 구축되는 과정에서 면처리가 누락되거나 경계가 불일치하여 3D 객체가

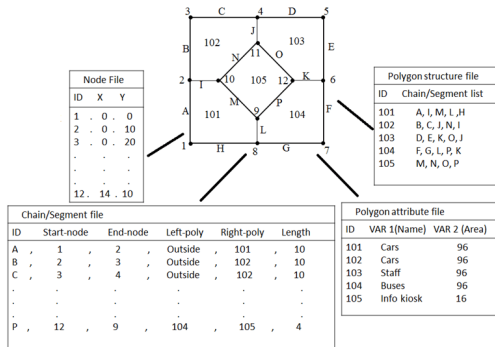


Figure 5. Basic Topology Model (<https://tips.fbi.gov/>)

‘watertight’ 하게 생성되지 않아 발생하는 오류이다. ‘실제 형상 불일치’는 실제 시설물의 형상과 다르게 데이터가 구축된 오류이며, ‘측량점 미처리’는 데이터 생성을 위해 측량된 측량점이 3D 모델링 시 반영되지 않는 오류로서 데이터가 실제 형상과 다르게 구축되는 문제를 야기할 수 있다. ‘면중첩’은 3D 객체를 구성하는 면들이 교차 또는 중첩하여 발생하는 오류이고, ‘수직위치 부적정’은 데이터의 수직위치가 부정확하여 지하에 위치해야 하는 시설물의 일부가 지표 위로 돌출된 오류이다. ‘세밀도 일관성 부적정’은 「지하공간 통합지도 제작 작업규정」의 세밀도 제작 기준을 준수하지 않은 오류이며, ‘기타’는 앞은 6개 유형 외 발생한 오류이다. 최근 3년간 사업 수행과정에서 발견하여 수정한 오류는 총 177개로 나타났으며, 이를 7개 유형으로 분류한 결과는 Figure 6와 같다.

#### 4.2. 데이터 특성별 품질검증 기법

지하공간통합지도 구축사업을 통해 지하시설물(구조물형) 데이터의 2D 도형정보는 벡터 데이터, 3D 도형정보는 3D 메쉬 데이터의 형태로 구축된다. 따라서 본 논문에서는 각 데이터 특성에 적합한 품질검증 기법을 조사하였다.

2D 벡터 데이터는 Figure 7와 같이 표현하는 객체

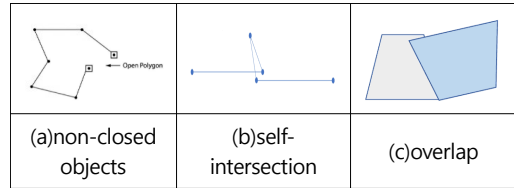


Figure 6. Error type of 2D vector data

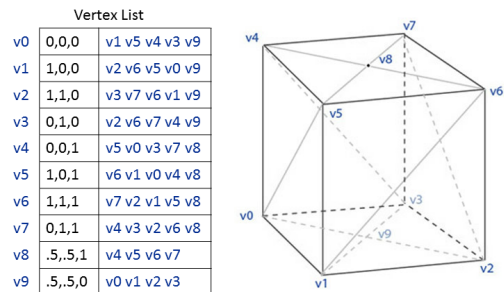


Figure 7. Vertex-vertex meshes ([https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon\\_mesh](https://en.wikipedia.org/wiki/Polygon_mesh))

의 점과 선, 그리고 면의 정보를 포함한다. 2D 벡터 데이터의 공간적 위상 및 기하구조의 적정성을 검수하기 위해 데이터의 Figure 8과 같이 비폐합, 교차, 중첩 오류 등을 확인하는 과정이 필요하다. 객체 포함 여부를 검수하기 위해 시작점과 끝점의 좌표가 동일하지 않은 비폐합 객체를 검색하며, 벡터 데이터의 중첩은 객체를 구성하는 요소(점 좌표)가 동일한 경우를 탐색하여 검수할 수 있다. 데이터의 교차 및 중첩은 객체를 구성하는 좌표를 기반으로 중첩 영역 및 교차 여부를 확인하여 오류를 검출한다.

3D 메쉬 데이터는 Figure 9와 같이 메쉬를 구성하는 단위면의 꼭짓점 정보와 연결정보로 구성되어 있다. 메쉬 데이터의 공간적 위상 및 기하구조의 적정성을 품질검수하기 위해 메쉬 단위면의 유효성을 검수하고, Figure 15와 같이 메쉬 데이터의 비폐합, 교차, 중첩오류 여부를 확인한다.

메쉬 단위면을 구성하는 꼭짓점의 개수, 단위면의 면적, 단위면의 형태를 확인하여 단위면의 유효성을

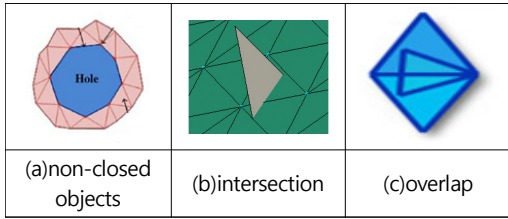


Figure 8. Error type of 3D mesh data

검수한다. 또한, 단위 면이 메쉬 객체를 구성하는 단위 면인지를 판별하기 위해 단위 면의 연결성을 검수한다. 메쉬의 폐합 여부는 단위 면의 경계가 공유하는 면의 개수를 확인하여 두 개의 단위 면을 공유하지 않는 경우 면 처리 누락에 따른 비폐합 오류를 검출한다. 메쉬 데이터의 교차 및 중첩 여부는 단위면의 꼭짓점이 다른 단위 면과 연결성이 없는 경우 교차나 중첩이 발생한 것으로 판단할 수 있다.

### 4.3. 지하시설물(구조물형) 데이터 품질검사 개선 방안

논문의 서론 부분에서도 언급한 바와 같이 현재 「지하공간통합지도 제작 작업규정」에서 제시하고 있는 지하시설물(구조물형) 데이터의 품질검사 방법은 구체성과 명확성 측면에서 한계점이 존재한다. 따라서 데이터 품질의 정확성과 신뢰성을 향상을 위한 품질검사 방식의 개선이 필요하다. 이에 본 논문에서는 데이터 품질검사 방법을 Table 2와 같이 개선하였다.

품질검사 요소 중 완전성, 주제정확성, 시간정확성, 기타는 주로 데이터의 속성 및 목록의 적정성 여부를 검사함으로써 무결성과 유효성 등을 확인한다.

논리일관성은 세밀도 적용 적정성, 파일 포맷 적정성, 도형의 중복, 누락, 교차, 중첩 등을 검사하여 공간 데이터의 위상과 기하구조 적정성을 확인하는 요소이다. 위치정확성 요소는 좌표계 준수 여부, 데이터의 평면위치·수직위치 정확성, 객체 형상의 정확성, 객체 간 인접 적합성 등을 검사하여 데이터의 절대적·상대

적 위치정확도를 확인한다. 위치정확성 요소에 속하는 세부 요소 중 ‘형상정보 정확성’은 현행 작업규정 내에는 존재하지 않는 항목이다. 그러나 Figure 6와 같이 구축된 데이터가 실제 형상과 불일치하는 오류의 발생 빈도가 높아 이를 해결하기 위해 본 논문에서 새롭게 추가하였다.

또한 지속적으로 생성·갱신·삭제되는 데이터의 효율적 이력관리를 위한 시간정확성 요소와 데이터의 보안관리를 위한 보안성 요소를 추가하였다. 이를 통해 향후 신규 구축되는 데이터와 기 구축된 지역의 데이터 갱신 시 변화되는 데이터의 이력을 철저히 관리함으로써 데이터의 누락이나 불일치를 방지하고, 시계열적인 변화를 모니터링 할 수 있다. 또한 보안시설로 분류되는 지하시설물 데이터 등급에 따른 보안등급 설정과 관리담당자 지정을 통해 보안관리의 효율성 및 데이터 활용성을 향상시키고자 하였다.

이 밖에 데이터가 물리적 구조에 알맞게 제작되었는지를 점검하기 위한 포맷일관성, 속성값의 유효성을 확인하기 위한 속성값 유효성 등의 요소를 추가하였으며, 2차원 위치정보 정확성, 속성내용 누락과 같이 현재 검수과정에서 적용되지 않거나 불필요하다고 판단되는 요소는 삭제하였다(배상근 외 2020c).

검사항목 측면에서는 품질요소, 세부요소, 세세부요소, 품질검사 기준으로 구성된 기존 4가지 검사항목에 품질검사 방법, 품질검사 규칙, Flow Diagram, 해결 가능 오류유형의 4가지 항목을 추가하였다.

품질검사 방법 항목은 품질검사 기준 항목을 바탕으로 데이터 검수 시 확인해야 하는 대상 및 내용을 좀 더 구체적으로 정의하며, 품질검사 규칙 항목은 자동 검수에 필요한 사항을 정리하였다. 품질검사 규칙 항목의 경우 속성정보 뿐 아니라 도형정보까지 소프트웨어로 검수하기 위해 공간데이터의 기하학적 구조와 위상관계를 정의한 기존 자료들을 분석하여, 도형정보의 위상일관성, 위치정확성 등을 검수하기 위한 세부적인 규칙과 알고리즘을 제시하였다(배상근 외



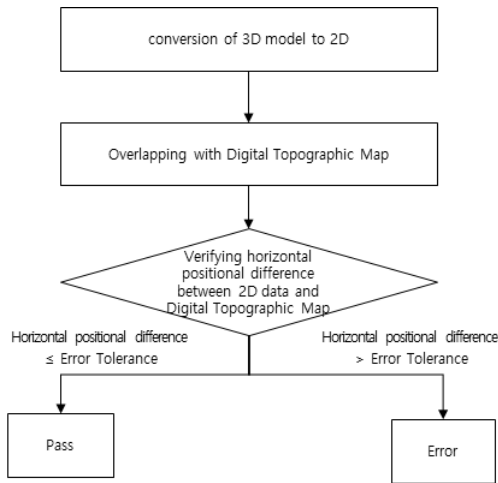


Figure 9. Flow diagram of horizontal positional accuracy of 3D model

2020c).

Flow Diagram은 품질검사 규칙에서 정의한 내용을 작업 절차에 따른 순서도의 형태로 표현한 것으로서, 데이터 검수 단계 및 단계별 오류 검출 기준을 정의하였다. 지면 한계 상 Flow Diagram은 Table 2에 포함시키지 않고, Figure 9 ~ 10과 같이 대표적인 검사요소를 별도로 정리하였다.

Figure 9는 3D 모델의 평면위치 정확성을 검수하는 과정을 나타내며, 그 절차는 다음과 같다.

- ① 3D 모델을 2D로 역변환
- ② 수치지형도와 중첩
- ③ 평면위치 차이가 임계값 이내: 통과
- ④ 평면위치 차이가 임계값 초과: 오류

Figure 10은 형상정보 정확성 중 측량성과와 3D 모델을 비교하여 모델링 시 측량성과의 누락 여부를 점검하는 과정을 나타내며, 그 절차는 다음과 같다.

- ① 측량성과(측량점) 추출

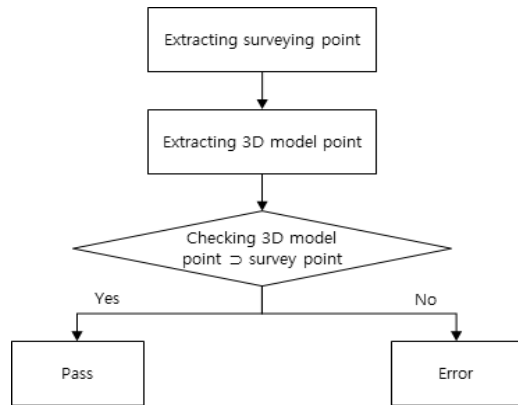


Figure 10. Flow diagram of comparison between surveying results and 3D model

- ② 3D 모델의 점(point) 추출
- ③ 측량성과와 3D 모델의 점 일치: 통과
- ④ 측량성과와 3D 모델의 점 일치: 오류  
(즉, 측량성과가 3D 모델의 점으로 모두 사용되면 통과)

해결 가능 오류유형 항목은 본 논문에서 제안한 개선된 품질검사 방법을 통해 검출할 수 있는 오류유형을 표시한 것이다. 개선된 품질검사 방법을 적용할 경우 데이터 구축 과정에서 발생하는 오류의 상당 부분을 해결할 수 있을 것이다. Figure 6의 오류 유형 중 '실제 형상 불일치', '세밀도 일관성 부적정', '기타'를 제외한 나머지 오류 유형은 Table 3의 품질검사 방법으로 검출할 수 있어, 최근 3년을 기준으로 약 64%의 오류는 검수과정에서 찾아내 수정이 가능할 것으로 기대된다.

본 논문은 앞의 3차원 공간데이터 품질검증 현황에서 언급한 기존 선행연구들에 비해 보다 세부적이고 구체적인 품질검증 방법과 알고리즘을 제시하였으며, 품질검증 자동화 소프트웨어 개발에 필요한 검사 절차와 오류 검출 기준을 도출하였다. 또한 다양한 공간데이터 중에서도 지하시설물(구조물형) 데이터의 포

Table 3. Suggests on Standard for Quality Assessment and improvement plan for structure-type underground facilities

Items in the current work regulations				New additional items
Quality factors	Detailed factors	Additional detailed factors	Criteria for quality inspection	Quality inspection methods and quality inspection rules (algorithm)
Completeness	Omitted	Target object omitted	Comparing the list and quantity of raw data and final results	Method: Verifying whether the number of files matches the final performance with the raw data
	Concept consistency	LOD Consistency	Confirmation of compliance with LOD production standard for underground facilities	Method: Visual inspection of adequacy of application of LOD production standards Solvable error types : Detail consistency errors
Logic and consistency (Standard)	Formatting consistency	File extension info	Verifying that the data is stored appropriately in the physical structure	Method: Verifying adequacy of file extension
	Topological consistency	2D info	Verifying topological condition adequacy for 2D data	Method: Verifying spatial topology and geometric adequacy of 2D data  Rules 1. Extracting duplicated objects (within the same position) 2. Extraction of non-closed polygons 3. Extraction of crossed and overlapped objects (points, lines, polygons) (lines and polygons self-crossing, polygons, lines, points and polygons, lines and polygons intersect and overlap)  Solvable error types : object duplication, non-closed objects, object crossing, and overlapping
		3D info	Verifying topological condition adequacy for 3D model	Method: Verifying topology and shape adequacy of 3D data (omission, duplication, crossing, overlapping, etc.)  Rules 1. Preprocessing 1-1. Verifying the number of vertices constituting the unit mesh 1-1-1. Matches standard; Pass 1-1-2. Different from standard; Error 1-2. Checking the area of the unit mesh area 1-2-1. Within the area standard; Pass 1-2-2. Outside the area standard; Error 1-3. Validation of unit mesh shape (edge length, ratio, etc.) 1-3-1. Within the valid scope; Pass

Items in the current work regulations				New additional items
Quality factors	Detailed factors	Additional detailed factors	Criteria for quality inspection	Quality inspection methods and quality inspection rules (algorithm)
				1-3-2. Outside the valid scope; Error 1-4. Checking unit mesh connectivity. (If there is no connectivity, it is not the unit mesh constituting the object 1-4-1. With connectivity; Pass 1-4-2. No connectivity; Error 2. (Within the same position) Extracting duplicated objects 3. Extracting non-closed 3D objects 4. Extracting crossed and overlapping 3D objects (self-crossing, crossing between objects)  Solvable error types : object duplication, non-closed objects, object crossing, and overlapping
Position accuracy (Space)	Absolute or external accuracy	Reference coordinate system accuracy	Verifying world geodetic system (horizontal coordinates)	Method: Verifying attribute information of a PRJ file, which is a coordinate system setting file of an SHP file (GRS_1980)  Method: Verifying whether an object exceeding the range of GRS80, 200,000/600,000 exists in the middle of TM  Rule: Verifying whether the extracted MBR (Minimum Bounding Rectangle) is within X: 600,000, Y: 200,000
		2D position info accuracy	No distinction between 2D and 3D based on work rules	Item deleted
		Position info accuracy	- Verifying the appropriateness of the horizontal position and height value of the 3D model by overlapping the orthophoto (or digital topographic map) and the DEM - Measurement and verification of public reference points and 3D models means	<Horizontal Position Accuracy> Method: Reversing the 3D model to 2D (or 2D data built using raw data) and then overlapping it with the orthogonal image (or digital topographic map) to confirm the horizontal position accuracy  Rules 1. Reversing the 3D model to 2D 2. Overlapping the orthophoto (or digital topographic map) 3. Checking the difference in horizontal position 3-1. Within the margin of error; Pass 3-2. Outside the margin of error; Error

Items in the current work regulations				New additional items
Quality factors	Detailed factors	Additional detailed factors	Criteria for quality inspection	Quality inspection methods and quality inspection rules (algorithm)
			confirming the positional accuracy* of public survey work regulations	Solvable error types : Horizontal position errors <hr/> <Vertical position accuracy> Method: Verifying the vertical position accuracy by overlapping the 3D model with the DEM Rules Visual inspection of whether a 3D model that should be located underground exists on the DEM <hr/> Solvable error types : Vertical position errors
		Shape info accuracy	Verifying the consistency of shape information between the 3D model and the actual structure	Method: Verifying whether the 3D model and the survey points were all used as points of the 3D model by overlapping Rules 1. Extracting survey points 2. Extracting 3D model points 3. Confirming whether the survey point matches the 3D model point 3-1. Matching; Pass 3-2. Different; Error <hr/> Solvable error types : Unprocessed survey points <hr/> Method: Comparing 3D model with actual field (ground level) Rules Visual inspection of shape inconsistency between the 3D model and the actual site (field photo, road view, etc.) <hr/> Solvable error types : Mismatched shape
			Verifying the appropriateness and accuracy of the application of raw data shape info	Method: Verifying shape accuracy by reverse conversion of 3D model built using raw data into 2D and overlapping the raw data Rules 1. Reverse the 3D model to 2D (planar view, cross-sectional view) 2. Overlapping raw data

Items in the current work regulations				New additional items
Quality factors	Detailed factors	Additional detailed factors	Criteria for quality inspection	Quality inspection methods and quality inspection rules (algorithm)
				3. Determining whether 2D matches raw data (object position, shape, number) Solvable error types : 3D conversion errors
	Relative or internal accuracy	2D info boundary	Verifying the adjacent consistency and spacing of the connecting section	Method: Verifying whether adjacent parts are separated between objects that must be adjacent  Rules 1. Verifying related essential objects 1-1. Constructing an object into one layer: N/A 1-2. Constructing an object into multiple layers: adjacent between layers 2. Extracting unconnected (separated) objects (line, polygon) 3. Verifying the threshold of the separation distance 3-1. Within threshold; Pass 3-2. Beyond threshold; Error  Solvable error types : Non-closed objects
		3D info boundary	Verifying the adjacent consistency and spacing of the connecting section	Method: Verifying whether adjacent parts are separated between objects that must be adjacent  Rules 1. Verifying related essential objects 1-1. Constructing an object into one layer: N/A 1-2. Constructing an object into multiple layers: adjacent between layers 2. Extracting unconnected (separated) objects (line, polygon) 3. Verifying the threshold of the separation distance 3-1. Within threshold; Pass 3-2. Beyond threshold; Error  Solvable error types : Non-closed object

\* ① Margin of error of the public reference point

· Horizontal:  $\pm 0.10\text{m}$ , Vertical:  $\pm 0.10\text{m}$  (standard deviation)

② Margin of error of position accuracy

· Horizontal position: standard deviation within  $\pm 0.50\text{m}$ , maximum error within  $\pm 0.75\text{m}$

· Vertical position: standard deviation within  $\pm 0.70\text{m}$ , maximum error within  $\pm 1.00\text{m}$

맷 특성과 주요 오류유형을 분석하고, 이러한 오류를 해결하기 위해 최적화된 검증방법을 개발하였다는 점에서 차별성이 있다.

## 5. 결 론

지하공간통합지도는 2014년도에 전국적으로 발생했던 싱크홀을 계기로 15종의 지하정보를 통합한 국가공간정보로서, 2015년부터 지속적으로 구축되고 있다. 본 논문에서는 지하공간통합지도 구축사업을 통해 구축되는 데이터 중 신규 구축 비중이 가장 높은 지하시설물(구조물형) 데이터의 품질관리 방법을 개선하기 위한 방안을 마련하고자 하였다. 먼저 지하공간통합지도의 구축 배경 및 구축현황과 3차원 공간데이터 품질검증 관련 기술현황에 대해 살펴보았다. 또한 지하시설물(구조물형) 데이터의 정의 및 분류, 포맷 특성, 구축과정에서의 주요 오류 유형, 데이터 특성에 따른 품질검증 기법 등에 대해 분석하였다. 이를 토대로 현재 「지하공간통합지도 제작 작업규정」에 포함된 품질검사 기준 및 방법의 개선(안)을 제안하였다.

일부 속성정보를 제외한 대부분의 정보를 육안검수로 진행하고 있는 현재의 검수방식을 개선하기 위해 품질검사 기준 및 방법을 구체화·명확화하였다. 이를 위해 품질요소, 세부요소, 세세부요소, 품질검사 기준으로 구성된 현재의 검사항목에 품질검사 방법, 품질검사 규칙, Flow Diagram, 해결 가능 오류유형 항목을 추가하여 검사항목을 세분화하였다. 또한 검사내용 및 절차, 오류판단 기준을 명확하고 구체적으로 설명함으로써, 작업자의 주관적 판단을 최소화하고, 데이터 자동검수를 위한 소프트웨어 개발 시 유용하게 활용할 수 있도록 하였다. 이 밖에도 데이터 관리 측면에서의 효율성 향상을 위해 시간정확성 요소, 보안성 요소 등 새로운 품질요소를 추가하였으며, 검수과정에서 사용되지 않거나 불필요한 품질요소는 삭제하였다.

본 논문은 지하공간통합지도 데이터 품질향상을 위

해 기존의 품질검사 기준과 방법을 개선하기 위한 방안을 제시하였다. 향후에는 본 논문에서 개발한 품질검사 개선안을 토대로 데이터 품질검사 S/W를 개발한 뒤 실 데이터를 이용해 오류검출 테스트를 진행할 계획이며, 테스트를 통해 논문에서 제시한 데이터 품질검사 방법론의 적합성을 검증하고 고도화할 필요가 있다.

논문에서 제안한 품질검사 방안은 지하공간통합지도 데이터 품질검사 업무의 객관성과 일관성을 향상시키고, 데이터의 정확성과 최신성을 확보하는데 많은 도움이 될 수 있다. 본 논문을 통해 고품질의 지하공간정보를 구축·활용함으로써, 국토공간을 안전하게 관리하고 국민이 지하시설물을 편리하게 이용하는 데 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

- 
- 주 1. 2021년 진행 중인 지하공간통합지도 구축사업을 통해 33개 시(市)에 대한 정보구축이 완료되면, 전국 시급 이상 지자체의 지하공간통합지도 제작이 완료됨
  - 주 2. 「지하공간통합지도 제작 작업규정」의 [별표 1] 지하공간통합지도 표준데이터 항목에 따르면 15종의 지하정보를 지하시설물(관로형), 지하시설물(구조물형), 지반과 같이 3종의 대분류로 구분함. 본 논문에서는 이를 데이터 대분류 3종으로 기재함

## 감사의 글

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 20DCRU-B158151-01).

## 참고문헌

### References

- 김병선, 이희석, 홍상기. 2020. 3차원 공간정보 데이터 검증을 위한 프로토타입 설계 및 구현. 대한공간정보학회지. 28(3): 39-49.
- Kim BS, Lee HS, Hong SK. 2020. Design and Implementation of the Prototype Wytwtem to

- Validate 3-Dimensional Geospatial Data. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*. 28(3): 39-49.
- 배상근, 김상민, 이영재. 2020a. 공공데이터 기반 지하 공간 등록정보 구축방안. *한국지적학회지*. 36(2): 23-37.
- Bae SK, Kim SM, Lee YJ. 2020a. Construction of Underground Space Registration Information Using Public Data. *Journal of the Korean Society of Cadastre*. 36(2):23-37.
- 배상근, 김상민, 유은진. 2020b. 공간데이터 품질기준에 대한 현황분석. *대한토목학회 2020 컨벤션 학술대회 발표집*.
- Bae SK, Kim SM, Yoo EJ. 2020b. Analysis on Spatial Data Quality Standards. *Korean Society of Civil Engineers 2020 Convention Conference & Civil Expo*.
- 배상근, 김상민, 유은진. 2020c. 지하공간통합지도 품질관리 개선방안 연구. *지적과 국토정보*. 50(2): 221-235.
- Bae SK, Kim SM, Yoo EJ. 2020c. Research on Improving Quality Management for Underground Space Integration Map. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 50(2): 221-235.
- 이인수, 고정석. 2008. 복합지하건축물 3D 지적도 구축 - 지하상가, 지하보도 측량을 중심으로-. *지적과 국토정보*. 38(2):233-250.
- Lee IS, Ko JS. 2008. 3D Cadastral Mapping for Complex Underground Construction -Based on Underground Store, Underground Sidewalk Surveying-. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 38(2):233-250.
- 최재연, 김은형. 2020. 사용자 관점의 융·복합 공간정보 품질관리 방안 연구. *지적과 국토정보*. 50(1): 47-62.
- Choi JY, Kim EH. 2020. A Quality Management Model for Consumer-oriented Spatial Information. *Journal of Cadastre & Land InformatiX*. 50(1):47-62.
- 국토교통부. 2018. 지하공간통합지도 제작 작업규정. 국토교통부고시 제2018-661호.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2018. *Regulations on Underground Space Integrated Map Production*. Ministry of Land, Infrastructure and Transport Notice No.2018-661.
- 국토교통부. 2020. 지하안전관리에 관한 특별법. 법률 제17453호.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2020. *Special Act on Underground Safety Management*. Act No.14545.
- Cai L, Zhu Y. 2015. The Challenges of Data Quality and Data Quality Assessment in the Big Data Era. *Data Science Journal, Software and Standards*. 14:(2):1-10.
- ISO/TC 211. 2013. ISO 19157:2013 *Geographic information — Data quality*. Available online: <https://www.iso.org/standard/32575.html>.
- ISO/TC 211. 2019. ISO 19107:2019 *Geographic information — Spatial schema*. Available online: <https://www.iso.org/standard/26012.html>.
- Larry P. English. 1999. *Improving data warehouse and business information quality : methods for reducing costs and increasing profits*. John Wiley & Sons, p.544.
- Ledoux H. 2018. val3dity: validation of 3D GIS primitives according to the international standards. *Open Geospatial Data, Software and Standards*. 3(1):1-12.
- OGC. 2016. *CityGML Quality Interoperability Experiment*. OGC. Public Engineering Report.

2021년 10월 01일 원고접수(Received)

2021년 10월 28일 1차심사(1st Reviewed)

2021년 11월 25일 게재확정(Accepted)

---

### 초 록

지하공간통합지도는 2014년도에 전국적으로 발생했던 싱크홀을 계기로 15종의 지하정보를 통합한 국가공간정보로서, 2015년부터 지속적으로 구축되고 있다. 그러나 최근까지도 온수관 파열, 통신구 화재, 지반 침하 등과 같은 지하공간에서의 재난·재해가 지속적으로 발생함에 따라 지하정보의 품질 향상에 대한 요구가 증대되고 있는 실정이다. 이에 본 논문에서는 지하공간통합지도 데이터의 품질 향상을 위한 방안을 마련하고자 하였다. 특히 지하공간통합지도를 통해 관리되는 15종의 지하정보 중 신규 구축 비중이 가장 높은 지하시설물(구조물형) 데이터의 품질검증 개선 방안을 제시하였다. 대부분 육안검수로 진행되고 있는 현재의 검수 방식을 개선하기 위해 품질검사 기준을 좀 더 구체화·세분화하고자 하였다. 이를 위해 현재 품질요소, 세부요소, 세세부요소, 품질검사 기준으로 구성된 검사항목에 품질검사 방법, 품질검사 규칙, Flow Diagram, 해결 가능 오류 유형 항목을 추가하여 속성정보 뿐 아니라 도형정보까지 소프트웨어로 자동검수하기 위한 알고리즘을 개발하였다.

---

주요어 : 지하시설물, 데이터 품질검증, 지하공간통합지도, 지하정보, 공간데이터